

## برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبیس و تصاویر لندست در ماهیدشت

بهمن فرهادی بانسوله<sup>۱\*</sup> - علیرضا کریمی<sup>۲</sup> - همایون حصادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

### چکیده

روش‌های متداول اندازه‌گیری تبخیر و تعرق عمدتاً این پارامتر را به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند و تعمیم نتایج آن‌ها به سطح منطقه مشکل می‌باشد. در سالیان اخیر استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور به عنوان یک راهکار جهت برآورد تبخیر و تعرق در سطح منطقه مورد توجه قرار گرفته است. هدف از مطالعه کنونی برآورد تبخیر و تعرق در دشت ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از الگوریتم سبیس می‌باشد که یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر سنجش از دور هست. در این مطالعه تبخیر و تعرق در سطح منطقه با استفاده از الگوریتم سبیس برای چهار تصویر ماهواره ای Landsat TM در دوره‌های مختلف فصل رشد ذرت در سال ۱۳۸۹ برآورد گردید. مراحل مختلف محاسباتی در نرم افزار ERDAS و با استفاده از ابزار Model Maker برنامه نویسی شد. همزمان با استفاده از یک لایسیمتر زهکشدار که در آن ذرت کشت شده بود تبخیر و تعرق واقعی ذرت اندازه‌گیری و با نتایج الگوریتم سبیس مقایسه شد. حداکثر اختلاف بین تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبیس در مزرعه ذرت و مقادیر اندازه‌گیری شده درون لایسیمتر ۰/۳۴ میلی‌متر در روز تعیین گردید که معادل ۴/۵۶ درصد تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در همان روز می‌باشد. در هر چهار تاریخ حداکثر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبیس در سطح منطقه بین ۱/۰۲ تا ۱/۲۲ تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه شده با فرمول فائو پنمن-مانتیت می‌باشد که قابل قبول و منطقی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیان آب، تصویر ماهواره‌ای، ذرت، سنجش از دور، کرمانشاه

### مقدمه

حوضه‌های بزرگ نمی‌باشد (۷). گرچه لایسیمترها وسایل دقیقی برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق می‌باشند اما مشکلات احداث و هزینه نسبتاً زیاد مانع از کاربرد عمومی آن‌ها گردیده است لذا از این وسایل بیشتر در کارهای تحقیقاتی و یا واسنجی دیگر روش‌های تخمین تبخیر و تعرق و به عنوان یک روش مرجع استفاده می‌شود. در حال حاضر، روش‌های سنجش از دور جهت به دست آوردن متغیرهای مختلف در مقیاس‌های زمانی و مکانی مورد نیاز به منظور برآورد تبخیر و تعرق بکار می‌روند (۱۲). در سالیان اخیر الگوریتم‌های متعددی جهت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است (۴) و (۱۵). ورستاتین و همکاران (۱۸) روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در برآورد تبخیر و تعرق را به چهار دسته تقسیم‌بندی کردند که عبارتند از: (i) روش‌های مبتنی بر بیان انرژی در سطح، (ii) معادله پنمن-مانتیت، (iii) بیان آبی و (iv) رابطه بین شاخص‌های گیاهی و دمای سطحی (۱۸). تاکنون توجه ویژه‌ای به روش‌های مبتنی بر بیان انرژی در سطح شده است و در این راستا الگوریتم‌های متعددی از قبیل سبال (SEBAL)، متریک (METRIC)، سبیس (SEBS)،

تبخیر و تعرق (ET) که شامل تبخیر آب از سطح خاک و تعرق پوشش گیاهی می‌باشد نشان‌دهنده یک روند اساسی از چرخه هیدرولوژیکی و یک عنصر کلیدی مدیریت منابع آب، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. تبخیر و تعرق تابعی از ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی، کاربری اراضی، وضعیت گیاهی و توپوگرافی منطقه است که این پارامترها در زمان و مکان متغیر هستند. بنابراین تخمین و یا تعیین این پارامترها در یک منطقه مشکل می‌باشد. روش‌های مرسوم اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از سطح زمین (نسبت باون، همبستگی ادی و لایسیمتر) برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، پر هزینه و وقت‌گیر است، هم‌چنین چون این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای بوده، به خاطر شرایط متغیر آب و هوایی و طبیعت پویای فرآیند انتقال آب-گرما، قابل تعمیم به

۱ و ۲- استادیار و فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه  
\* نویسنده مسئول: (Email: bfarhadi2001@yahoo.com)

۳- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان کرمانشاه

بوده است. تمسگن (۱۷) با استفاده از تصاویر MODIS و اطلاعات ایستگاه هواشناسی و مدل SEBS، مقدار تبخیر و تعرق سالانه را در سال ۲۰۰۸ برای حوضه‌ای در شمال غربی اتیوپی تخمین زد و نتایج را با روش‌های مرسوم زمینی مقایسه کرد. مقدار تبخیر و تعرق واقعی سالانه محاسبه شده با روش SEBS، ۱۵۱۹ میلی‌متر محاسبه گردید در صورتی که تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) به دست آمده از روش پنمن - مانیتث برای همین سال ۱۴۹۸ میلی‌متر بوده است. در این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق روی حوضه نیز ارزیابی شده است.  $ET_0$  واقعی برآورد شده با الگوریتم SEBS در طی فصول مرطوب بزرگ‌تر از  $ET_0$  پنمن - مانیتث و در دوره‌های خشک‌تر کمتر بوده است. گبریسوز (۸) نیز طی تحقیقی الگوریتم SEBS را در تخمین رطوبت خاک و تبخیر و تعرق واقعی برای حوضه آبخیز Guarena در اسپانیا مورد ارزیابی قرار داد و با اندازه‌گیری‌های زمینی مقایسه کرد. در این پژوهش ۱۳ تصویر سنجنده MODIS پردازش شدند و با اطلاعات زمینی ۲۳ ثبت نگار رطوبت خاک و ۵ ایستگاه هواشناسی مقایسه شدند. هر چند که همبستگی قابل قبولی بین رطوبت خاک برآورد شده با استفاده از الگوریتم SEBS و اندازه‌گیری‌های زمینی به دست نیامد ( $r^2 < 0.2$ ) اما نتایج همین مطالعه بیانگر همبستگی مناسب ( $r^2 = 0.65$ ) بین میانگین رطوبت خاک برآورد شده در مقیاس مزرعه با استفاده از الگوریتم SEBS و اندازه‌گیری‌های زمینی می‌باشد. نتایج تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده نیز با تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش تکمیلی (advection-iridity) ارایه شده توسط بروسارتار (۶) مقایسه گردید که حاکی از همبستگی خوب ( $r^2 > 0.86$ ) بین این دو روش برای همه پیکسل‌ها بود. نتایج این مطالعه نشان داد که SEBS می‌تواند تخمین مناسبی از رطوبت خاک در مقیاس مزرعه و تخمین قابل اطمینانی از تبخیر و تعرق واقعی بدهد.

هر چند در چند سال اخیر تحقیقات متعددی در زمینه برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است اما الگوریتم SEBS در ایران مورد استفاده قرار نگرفته است. مولفین این مقاله تا زمان شروع این مطالعه تنها به نتایج یک مطالعه در ایران دسترسی پیدا نمودند که توسط اقدسی (۱) و به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد در هلند انجام گرفته بود. اقدسی در این مطالعه با استفاده از الگوریتم SEBS و تصاویر ASTER و MODIS مقدار تبخیر و تعرق را محاسبه و به ارزیابی مدیریت آبیاری در قزوین پرداخت.

مروری بر مطالعات انجام شده حاکی از آن است که بیشتر مطالعات صورت گرفته با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین بوده است. با توجه به این که مزارع در ایران عمدتاً کوچک هستند، استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و متوسط دارای اهمیت می‌باشد

سبی (SEBI) و ... ارایه شده است که در این مطالعه الگوریتم سبب مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم سبب برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند. این الگوریتم توسط سو در سال ۲۰۰۲ توسعه داده شده است (۱۵) و شامل یک سری ابزار برای تعیین پارامترهای فیزیکی سطح زمین (مانند آلبدو، انتشار سطحی، دمای سطحی، شاخص پوشش گیاهی و...) از روی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. تاکنون مطالعات متعددی جهت بررسی کارایی روش SEBS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مناطق مختلف دنیا انجام گردیده که در ادامه نتایج برخی از آن‌ها ارائه شده است.

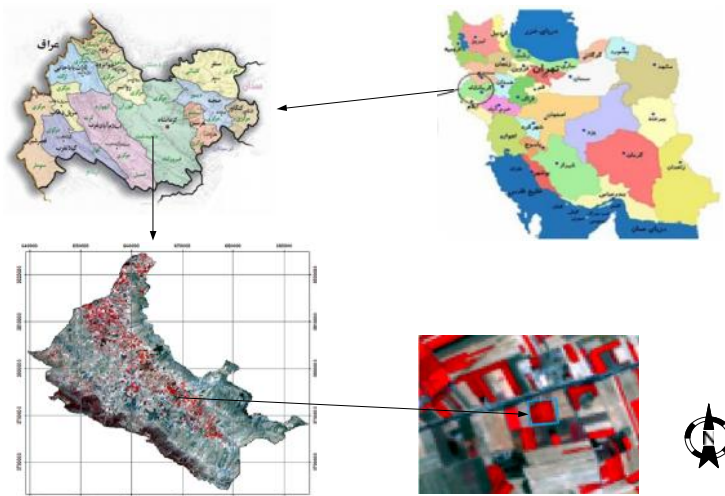
لین (۱۰) با استفاده از تصاویر MODIS/TERRA الگوریتم سنجش از دور SEBS را برای تخمین شارهای سطحی در شمال شرقی چین به کار برد. تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم SEBS تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده با لایسیمترهای بزرگ وزنی نشان داد. هیلی‌جیورجیس (۹) در تحقیقی الگوریتم SEBS را برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی در بخش‌هایی از استان Overijssel کشور هلند با استفاده از تصاویر LANDSAT ETM+7 مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه ضریب زبری سطح ( $Z_{om}$ ) از دو روش (استفاده از نقشه کاربری اراضی و شاخص NDVI) برآورد گردید. نتایج بیانگر تفاوت فاحش (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد) در تبخیر و تعرق محاسبه شده بر اساس این دو روش بود. در ادامه همین مطالعه مقدار ضریب گیاهی ذرت بر اساس تبخیر و تعرق به دست آمده (روشی که زبری سطح بر اساس شاخص NDVI محاسبه شده است) با استفاده از الگوریتم SEBS و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) به دست آمده با فرمول پنمن مانیتث (۲) محاسبه گردید. نتایج مطابقت خوبی را با ضرایب گیاهی ارائه شده در مطالعات قبلی در منطقه نشان داد. سو و همکاران (۱۴) مطالعه‌ای جهت ارزیابی تبخیر و تعرق برآورد شده توسط الگوریتم SEBS با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش اتصال اتمسفر رطوبت خاک (SMACEX) انجام دادند. بر اساس نتایج آن‌ها تفاوت بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده برای سویا و ذرت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بوده است. ضمناً نتایج این آنالیز نشان داد دقت برآورد تبخیر و تعرق ارتباط زیادی با نوع گیاه دارد به طوری که پیش‌بینی‌های ذرت تخمین بهتری را در مقایسه با سویا نشان داد. شان (۱۳) در تحقیقی که به منظور برآورد تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی درحوضه رودخانه‌ای از الگوریتم سنجش از دور SEBS و تصاویر سنجنده MODIS استفاده نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر و تعرق و شاخص گیاهی NDVI همبستگی بالایی دارند و دارای ارتباط مستقیم می‌باشند، به طوری که در نواحی کوهستانی با پوشش گیاهی زیاد (شاخص گیاهی NDVI بالاتر) مقدار تبخیر و تعرق نیز بالاتر

مطالعاتی رباط ماهیدشت منطقه‌ای نسبتاً کوهستانی است که ۳۵/۳ درصد اراضی را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل می‌دهند. شیب عمومی اراضی در حدود ۸/۶ درصد محاسبه گردیده و به سوی شمال غربی است. ذرت یکی از محصولات استراتژیک می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه به صورت گسترده کشت می‌گردد. در این مقاله ابتدا دقت تبخیر و تعرق روزانه حاصل از الگوریتم SEBS در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری روی مزرعه ذرت مورد بررسی قرار گرفت و سپس تبخیر و تعرق منطقه‌ای در سطح دشت با استفاده از الگوریتم SEBS برآورد گردد. برای این منظور در سال ۲۰۱۰ ذرت دانه‌ای رقم 704C در سطح ۱۰ هکتار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه کشت گردید.

که متأسفانه در مطالعات قبلی چندان مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. ضمناً در بیشتر مطالعات انجام گرفته به دلیل کمبود اندازه‌گیری‌ها نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نگردیده‌اند. هدف تحقیق حاضر ارزیابی روش SEBS در برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر لندست (با قدرت تفکیک مکانی متوسط) در منطقه ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در استان کرمانشاه و بخشی از دشت ماهیدشت - سنجایی، در بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). واحد



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و مزرعه ذرت در نقشه ایران و استان کرمانشاه

Figure 1- Location of the study area and maize field in the map of Iran and Kermanshah province

که مورد استفاده قرار گرفت. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره بالا بودن قدرت تفکیک مکانی این تصاویر و در دسترس بودن آن بوده است. زمان برداشت تصاویر به وقت محلی ۱۰:۳۰ می‌باشد. تصاویر مورد استفاده دارای شرایط هواشناسی مناسب و بدون ابر می‌باشند. کلیه پردازش‌های لازم با نرم‌افزارهای ERDAS Imagine، ENVI و ArcGIS انجام گرفته است.

نتایج این الگوریتم در دو سطح مورد ارزیابی قرار گرفت: (i) در سطح مزرعه تحقیقاتی و برای محصول ذرت، (ii) در سطح کل منطقه. برای ارزیابی نتایج این الگوریتم در سطح مزرعه تحقیقاتی مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبس در پیکسل‌های مربوط به مزرعه ذرت با مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده گیاه ذرت درون لایسومتر مورد مقایسه قرار گرفت. در نبود امکانات برای اندازه‌گیری

هم‌زمان درون یک لایسومتر زهکش‌دار به ابعاد (۱×۱/۵×۱/۵) متر که در وسط همین مزرعه قرار داشت ذرت کشت و مقدار تبخیر و تعرق ذرت در لایسومتر با استفاده از بیلان رطوبتی محاسبه گردید. قبل از هر آبیاری رطوبت خاک در سه عمق درون لایسومتر با استفاده از روش وزنی اندازه‌گیری و با توجه به آن کمبود رطوبتی خاک محاسبه می‌گردید. حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور با دقت ۰/۱ لیتر در ثانیه و حجم زه آب در خروجی زهکش با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری گردید.

جهت انجام این تحقیق از تصاویر ماهواره LANDSAT5 TM قابل دسترس در سال ۲۰۱۰ استفاده شد. در طول فصل زراعی ۴ تصویر در تاریخ‌های ۲۵ ژوئن، ۱۱ ژوئیه، ۲۷ ژوئیه و ۱۲ آگوست ۲۰۱۰ قابل دانلود در سایت <http://glovis.usgs.gov> وجود داشت

پوشش گیاهی با تراکم کمتر می‌باشد. این فاکتور با استفاده از اطلاعات تصاویر، از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شود.

$$L = 1 - 2 \times a \times NDVI \times WDWI \quad (۶)$$

$$WDWI = \dots_4 - X_{\dots_3} \quad (۷)$$

$a=1.6$  و ضریب خط خاک می‌باشد که در واقع شیب خط برازش داده شده بر نمودار بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک (باند ۴) و قرمز (باند ۳) است (۱۹).

در این مطالعه برای محاسبه آلبیدوی سطح از روش جدیدی که تصحیحات اتمسفری را برای هر باند از سنجنده اعمال می‌کند استفاده شده است (۳). آلبیدو سطح با استفاده از روابط ۸ تا ۱۲ برآورد می‌گردد:

$$\dots_{s,b} = \frac{\dots_{t,b} - \dots_{a,b}}{\ddagger_{in,b} \cdot \ddagger_{out,b}} \quad (۸)$$

$s,b$  میزان انعکاس در هر باند از سنجنده در سطح (بدون بعد)،  $t,b$  میزان انعکاس در هر باند از سنجنده در بالای اتمسفر (بدون بعد) که از رابطه ۹ محاسبه می‌گردد،  $a,b$  مقادیر ثابت انعکاس کاذب برای هر باند (بدون بعد)،  $in,b$  قابلیت انتقال اتمسفری برای تابش‌های ورودی خورشید در هر باند که از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد،  $out,b$  قابلیت انتقال اتمسفری برای تابش‌های خروجی انعکاس یافته از سطح در هر باند که از رابطه ۱۱ محاسبه می‌گردد، می‌باشند.

$$\dots_{t,b} = \frac{f \cdot L_b}{ESUN_b \cdot \cos_n \cdot d_r} \quad (۹)$$

در این معادله  $ESUN_b$  پتانسیل تابش خورشید در هر باند، زاویه تابش خورشید،  $d_r$  معکوس فاصله نسبی زمین و خورشید و  $L_b$  تابش طیفی هر باند می‌باشد.

$$\ddagger_{in,b} = C_1 \exp \left[ \frac{C_2 \cdot P_{air}}{K_t \cdot \cos_{n_h}} - \frac{C_3 W + C_4}{\cos_{n_h}} \right] + C_5 \quad (۱۰)$$

$$\ddagger_{out,b} = C_1 \exp \left[ \frac{C_2 \cdot P_{air}}{K_t \cdot 1} - \frac{C_3 W + C_4}{1} \right] + C_5 \quad (۱۱)$$

$C_1-C_5$  ضرایب تعمیم یافته از مدل MODTRAN برای هر باند (۱۷)  $P_{air}$  میانگین فشار اتمسفر (KPa)  $W$  آب معلق در اتمسفر،  $K_t$  ضریب تیرگی که یک در نظر گرفته می‌شود،  $n_h$  در رابطه ۱۰ زاویه تابش خورشید از سطح افق و در رابطه ۱۱ زاویه سنجنده از سطح افق (صفر برای تصاویر لندست) می‌باشند.

$$\Gamma = \sum_{b=1}^7 [\dots_{s,b} \cdot W_b] \quad (۱۲)$$

آلبیدو سطح،  $W_b$  ضرایب وزنی برای هر باند می‌باشد. شار گرمای خاک در الگوریتم SEBS از رابطه ۱۳ به دست می‌آید:

زمینی تبخیر و تعرق در سطح منطقه، مقادیر حداکثر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبب با مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با استفاده از رابطه فائو پنمن مانیت (۲) مورد مقایسه قرار گرفت. شاخص‌های ساده‌ای از قبیل خطای مطلق و خطای نسبی جهت ارزیابی نتایج الگوریتم مورد استفاده قرار گرفتند.

با توجه به عدم وجود منابع فارسی در رابطه با الگوریتم سبب، در ادامه این الگوریتم به طور مختصر معرفی می‌گردد. اساس این روش استفاده از معادله توازن انرژی (معادله ۱) و محاسبه مقدار شار گرمای نهان تبخیر به عنوان باقی‌مانده این معادله برای هر پیکسل می‌باشد.

$$\}ET = R_n - G - H \quad (۱)$$

در این معادله ET شار گرمای نهان تبخیر  $(W/m^2)$ ،  $R_n$  میزان تابش خالص خورشیدی  $(W/m^2)$ ،  $G$  شار گرمای خاک  $(W/m^2)$  و  $H$  شار گرمای محسوس  $(W/m^2)$  می‌باشد.

میزان تابش خالص خورشیدی ( $R_n$ ) با استفاده از معادله بیلان تشعشع سطحی (رابطه ۲) محاسبه می‌گردد.

$$R_n = (1 - \dots) \cdot R_{swd} + R_{lwd} - T_0^4 \quad (۲)$$

در این معادله، آلبیدو سطح،  $R_{swd}$  تشعشعات موج کوتاه ورودی  $(W/m^2)$ ،  $R_{lwd}$  تشعشعات موج بلند ورودی  $(W/m^2)$ ، انتشار سطحی، ثابت استفان-بولتزمن  $(5.67 \times 10^{-8} W/m^2/K^4)$  و  $T_0$  دمای سطح  $(^0K)$  می‌باشد.

تشعشعات موج کوتاه ورودی ( $R_{swd}$ ) از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$R_{swd} = I_{sc} \cdot e_o \cdot \cos_n \cdot \exp(-m \cdot \ddagger) \quad (۳)$$

در این معادله،  $I_{sc}$  ثابت خورشیدی برابر  $۱۳۶۷ (W/m^2)$ ،  $e_o$  فاکتور گریز از مرکز،  $z$  زاویه اوج خورشید،  $m$  جرم هوا و ضخامت نوری.

تشعشعات موج بلند ورودی ( $R_{lwd}$ ) از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$R_{lwd} = v_a \cdot \ddagger \cdot T_a^4 \quad (۴)$$

در این معادله،  $T_a$  دمای هوا در ارتفاع مرجع  $(^0K)$  و  $v_a$  انتشار اتمسفری (۱۵).

در مناطق خشک و نیمه خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود اثرات بازتاب خاک زمینه، اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار دهد و بر آن چیره شود. SAVI که شاخص تصحیح شده NDVI است اثرات خاک زمینه و رطوبت خاک را در شاخص NDVI کاهش می‌دهد که با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\dots_4 - \dots_3)}{(\dots_4 + \dots_3 + L)} \quad (۵)$$

۳ و ۴ بازتاب طیفی باندهای ۳ و ۴،  $L$  فاکتور تصحیح اثرات خاک است که دامنه آن از صفر برای پوشش گیاهی متراکم و ۱ برای

گیری بین مقادیر (NDVI / ) و  $Z_{om}$  در دو یا چند پیکسل شاخص با پوشش های گیاهی مشخص تعیین می گردد (۱۱). طول زبری برای انتقال گرما ( $Z_{oh}$ ) با استفاده از رابطه ۱۹ تخمین زده می شود (۱۵):

$$Z_{oh} = \frac{Z_{om}}{\exp(KB^{-1})} \quad (19)$$

در این معادله  $KB^{-1}$  شماره Stanton، نشان دهنده مقاومت اضافی برای انتقال گرما است (۱۶) که با استفاده از رابطه ۲۰ برآورد می گردد.

$$kKB^{-1} = \frac{kC_d}{4C_t \frac{u_*}{u(h)} (1 - e^{-n_{ec}/2})} f_c^2 + \quad (20)$$

که در آن،  $C_d$  ضریب درآگ برگ درختان که  $0.2$  فرض می شود، پوشش جزئی کانوپی و  $f_s$  متمم  $f_c$  است،  $C_t$  ضریب انتقال گرما از برگ که برای اغلب کانوپی ها و شرایط محیطی مقدار آن بین  $0.075N$  تا  $0.005N$ ،  $C_t$  شماره برگ هایی که در تبادل گرما دخالت دارند و  $KB_s^{-1}$  برای خاک لخت که از رابطه ۲۱ به دست می آید:

$$kKB_s^{-1} = 2.46(Re_*^*)^{1/4} - \ln[7.4] \quad (21)$$

که در آن،  $Re_*^*$  شماره زبری رینولدز برای خاک است. کسر تبخیر ( ) در SEBS با استفاده از شار گرمای محسوس به دست می آید. تحت شرایط خشک شار گرمای نهفته حداقل است و می تواند صرف نظر شود، در این صورت معادله بالانس انرژی به صورت معادله ۲۲ خلاصه می شود:

$$\}E_{dry} = R_n - G_0 - H_{dry} \equiv 0, \quad (22)$$

or  $H_{dry} = R_n - G_0$   
در شرایط خیس تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل می رسد، در این حالت داریم (رابطه ۲۳):

$$\}E_{wet} = R_n - G_0 - H_{wet}, \quad (23)$$

or  $H_{wet} = R_n - G_0 - \}E_{wet}$   
با استفاده از معادله ۲۴ در رابطه پنمن - مانیتث،  $H_{wet}$  تخمین زده می شود (۱۵):

$$H_{wet} = \left( (R_n - G_0) - \frac{C_p \cdot e_s - e}{r_{ew} \cdot X} \right) / \left( 1 + \frac{\Delta}{X} \right) \quad (24)$$

در شرایط خیس مقاومت آیرودینامیک از معادله ۲۵ تخمین زده می شود:

$$r_{ew} = \frac{1}{ku_*} \left[ \ln \left( \frac{z - d_0}{Z_{oh}} \right) - \mathbb{E}_h \left( \frac{z - d_0}{L_w} \right) + \mathbb{E}_h \left( \frac{Z_{oh}}{L_w} \right) \right] \quad (25)$$

$$G_0 = R_n \cdot [\Gamma_c + (1 - f_c) \cdot (\Gamma_s - \Gamma_c)] \quad (13)$$

در این معادله:  $c$  نسبت شار گرمای خاک به تشعشع خالص برای پوشش گیاهی متراکم می باشد که  $0.5$  در نظر گرفته می شود.  $s$  نسبت شار گرمای خاک به تشعشع خالص برای خاک لخت که  $0.315$  در نظر گرفته می شود.  $f_c$  پوشش جزئی کانوپی می باشد که با استفاده از داده های سنجنش از دور قابل محاسبه است (رابطه ۱۴).

$$f_c = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (14)$$

در این معادله،  $NDVI_{min}$ ،  $NDVI_{max}$  و  $NDVI$  به ترتیب مقادیر  $NDVI$  در پیکسل حاوی پوشش گیاهی متراکم، خاک لخت و پیکسل جاری هستند (۱۷).

شار گرمای محسوس انرژی گرمایی انتقال یافته بین سطح و هوا است. در مدل SEBS شرایط مانین - ابوکوف (۵)، برای محاسبه شار گرمای محسوس به کار گرفته شده است:

$$u = \frac{u_*}{k} \left[ \ln \left( \frac{z - d_0}{Z_{om}} \right) - \mathbb{E}_m \left( \frac{z - d_0}{L} \right) + \mathbb{E}_m \left( \frac{Z_{om}}{L} \right) \right] \quad (15)$$

$$u_* = \frac{H}{ku_* \dots C_p} \left[ \ln \left( \frac{z - d_0}{Z_{oh}} \right) - \mathbb{E}_h \left( \frac{z - d_0}{L} \right) + \mathbb{E}_h \left( \frac{Z_{oh}}{L} \right) \right] \quad (16)$$

در این معادله،  $Z$  ارتفاع مرجع (m)،  $u$  سرعت باد و  $u_*$  سرعت اصطکاکی (m/s)،  $d_0$  ارتفاع جابه جایی (m)،  $Z_{om}$  و  $Z_{oh}$  ارتفاع زبری برای مومنتم و انتقال گرما (m)،  $k=0.4$  ثابت ون کارمن،  $C_p$  ظرفیت گرمایی هوای خشک (J/kg)، چگالی هوا ( $kg/m^3$ )،  $0$  و  $a$  دمای پتانسیل در سطح و دمای هوا در ارتفاع  $Z$  (K)،  $h$  و  $m$  فاکتور تصحیح پایداری برای انتقال مومنتم و گرمای اتمسفر،  $L$  طول ابوکوف (m) می باشد که به صورت رابطه ۱۷ تعریف می شود:

$$L = - \frac{u_*^3 C_p \rho v}{kgH} \quad (17)$$

در این معادله،  $g$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ )،  $v$  دمای مجازی نزدیک سطح ( $^0K$ ) می باشد.

طول زبری برای انتقال مومنتم ( $Z_{om}$ ) به صورت ارتفاع بالای سطح صفر جابه جایی می باشد. سطح صفر برای پروفیل باد، درست از سطح زمین یا پوشش گیاهی شروع می شود.  $Z_{om}$  با رابطه ۱۸ محاسبه می گردد.

$$Z_{om} = \exp \left[ \left( a \times \frac{NDVI}{r} \right) + b \right] \quad (18)$$

در این معادله،  $a$  و  $b$  ثابت های معادله می باشند که با رگرسیون

پوشش گیاهی زیاد که در قسمت غربی ناحیه مورد مطالعه قرار دارند دارای شاخص گیاهی بالایی هستند و تبخیر و تعرق در این نواحی متوسط رو به بالا می‌باشد (شکل ۲) که با نتایج ارایه شده توسط شان (۱۳) مطابقت دارد.

مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده گیاه ذرت درون لایسیمتر و مقادیر برآورد شده با الگوریتم SEBS در مزرعه ذرت در جدول ۱ ارایه شده‌اند. با توجه به این که لایسیمتر مورد استفاده در این تحقیق لایسیمتر زهکش‌دار بود، امکان اندازه‌گیری تبخیر و تعرق روزانه وجود نداشت و لذا تبخیر و تعرق در دوره‌های آبیاری (۷ روزه) محاسبه و بر اساس آن متوسط تبخیر و تعرق روزانه در دوره آبیاری برآورد گردیده است که ممکن است با تبخیر و تعرق در روز تصویربرداری تفاوت اندکی داشته باشد. میانگین تبخیر و تعرق ذرت درون لایسیمتر در تاریخ‌های نزدیک به تصویربرداری بین ۸/۱۳ تا ۸/۰۵ میلی‌متر در روز برآورد گردیده است. میانگین اختلاف مطلق بین مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده درون لایسیمتر و برآورد شده در سطح مزرعه ذرت ۰/۲۶ میلی‌متر در روز می‌باشد. بیشترین تفاوت بین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبب و مقادیر اندازه‌گیری شده درون لایسیمتر با مقدار ۰/۳۴ میلی‌متر در روز (۴/۵۶ درصد) در تاریخ ۲۷ ژولای می‌باشد که نتایج به دست آمده با یافته‌های سو و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. هر چند نمی‌توان مقدار مشخصی برای پذیرش خطای قابل قبول ارایه داد اما مطمئناً خطای ۵ درصدی در برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه ذرت قابل اغماض می‌باشد و می‌توان آن را پذیرفت.

در نبود اندازه‌گیری‌های زمینی برای تبخیر و تعرق در سطح منطقه، مقادیر حداکثر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبب با حداکثر مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با فرمول فائو پنمن-مانتیت در سطح منطقه مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۲). در تمامی تاریخ‌ها حداکثر مقدار برآورد شده با الگوریتم سبب بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. دلیل این موضوع می‌تواند وجود پوشش گیاهی با ضریب گیاهی بیشتر از یک در هر کدام از تاریخ‌های تصویر در منطقه باشد. حداقل و حداکثر نسبت تبخیر و تعرق برآورد شده به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در تاریخ‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱/۲۲ و ۱/۰۲ می‌باشد که اعداد منطقی برای ضریب گیاهی می‌باشند. بیشترین تفاوت بین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و حداکثر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبب مربوط به تاریخ ۱۲ آگوست با ۲۱/۸۶ درصد می‌باشد که دلیل آن می‌تواند این باشد که در این روز تراکم پوشش گیاهان آبی از جمله ذرت به حداکثر مقدار خود می‌رسد و در نتیجه باعث بیشتر شدن تبخیر و تعرق واقعی در سطح دشت و اختلاف بیشتر با تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌شود. در مجموع مقادیر تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده با الگوریتم سبب و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع

در شرایط خیس طول مائین-ابوکوف از معادله ۲۶ به دست می‌آید:

$$L_w = - \frac{...u_*^3}{kg \cdot 0.61 \cdot (R_n - G_0) / \{ } \quad (26)$$

که در آن، گرمای نهان تبخیر ( $2.45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) می‌باشد. کسر تبخیر نسبی با استفاده از معادله ۲۷ محاسبه می‌شود:

$$\Lambda_r = \frac{\{E\}}{\{E_{wet}\}} = 1 - \frac{\{E_{wet} - \{E\}}{\{E_{wet}\}} = 1 - \frac{H - H_{wet}}{H_{dry} - H_{wet}} \quad (27)$$

در نهایت کسر تبخیر از معادله ۲۸ تخمین زده می‌شود:

$$\Lambda = \frac{\{E\}}{H + \{E\}} = \frac{\{E\}}{R_n - G_0} = \frac{\Lambda_r \cdot \{E_{wet}\}}{R_n - G_0} \quad (28)$$

تبخیر و تعرق روزانه (ETA) با فرض ثابت بودن کسر تبخیر در طول روز از معادله ۲۹ محاسبه می‌شود:

$$ET_a = 8.64 \times 10^7 \times \frac{\Lambda \cdot R_{nday}}{\{ \dots w} \quad (29)$$

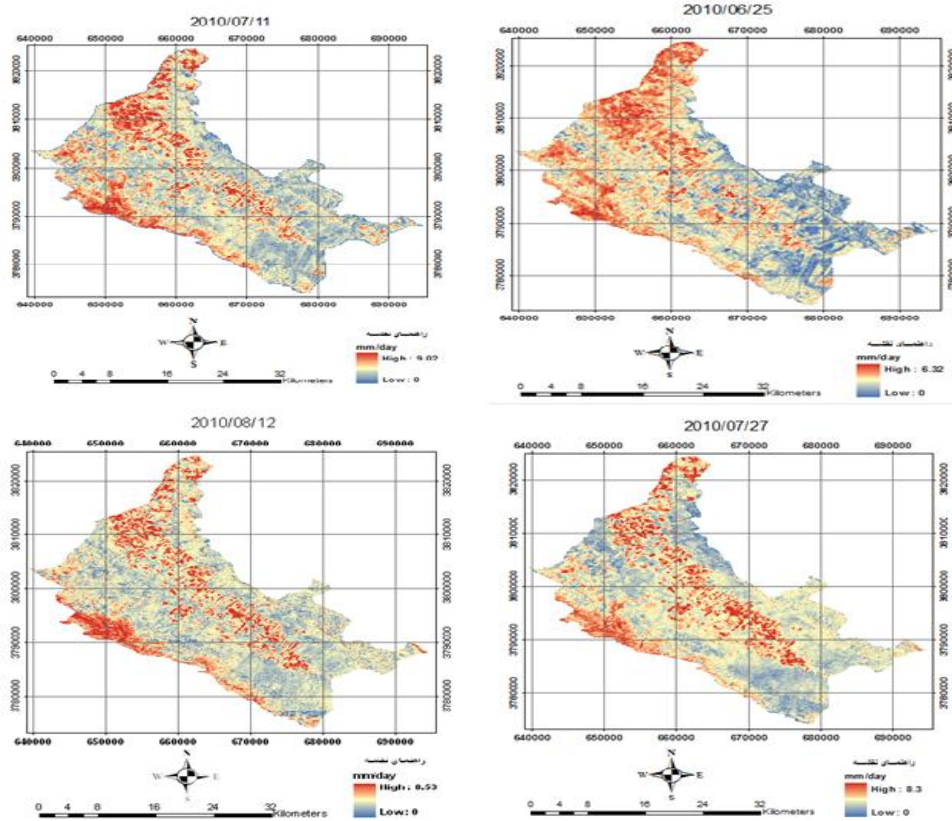
که در آن،  $w$  چگالی آب ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) و  $R_{nday}$  تابش خالص روزانه ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

کلیه روابط ذکر شده در الگوریتم سبب در نرم افزار Erdas Imagine با استفاده از ابزار Model maker فرمول نویسی شد. مدل برای هر تصویر با توجه به تاریخ تصویر اصلاح و اجرا گردید و خروجی‌های مدل جهت تهیه نقشه‌های مناسب وارد نرم افزار ArcGIS گردید.

## نتایج و بحث

تبخیر و تعرق واقعی محدوده مورد مطالعه حاصل از الگوریتم SEBS برای هر کدام از تصاویر در شکل ۲ ارایه شده است. نقشه‌های تهیه شده تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده داخل منطقه را نشان می‌دهد. تغییرات مکانی به علت تنوع در کاربری اراضی، نوع گیاه در اراضی زراعی و مرتعی و تاریخ کشت گیاهان می‌باشد. تغییرات زمانی تبخیر و تعرق به علت تغییرات دمای هوا و تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به تقویم زراعی در زمان‌های مورد مطالعه محصولات پاییزه برداشت شده‌اند و اراضی کشاورزی واقع در تصاویر ماهواره‌ای همگی تحت کشت آبی بوده و در فصل بهار کشت شده‌اند. ذرت، سیب زمینی، محصولات جالیزی و چغندرقد از محصولات رایج در منطقه به عنوان کشت بهاره می‌باشند. همان‌طور که در نقشه‌های شکل ۲ قابل مشاهده است هر چقدر به سمت تاریخ ۱۲ آگوست می‌رویم تبخیر و تعرق در مزارع آبی بیشتر می‌شود که به علت افزایش درصد پوشش گیاهی محصولات کشت شده و افزایش دمای هوا می‌باشد. ضمناً هر چقدر به این تاریخ نزدیک می‌شویم تراکم پوشش مراتع کمتر و در نتیجه تبخیر و تعرق در این مناطق کاهش پیدا کرده است. نواحی کوهستانی و جنگلی با

دارای میانگین تفاضل مطلق ۰/۲۱ میلی‌متر در روز می‌باشد.



شکل ۲- تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبیس در محدوده مورد مطالعه

Figure 2- Estimated evapotranspiration using SEBS algorithm in the study area

جدول ۱- تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده ذرت با استفاده از لایسیمتر و مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق بوسیله الگوریتم سبیس با استفاده از

تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 5-TM

Table 1- Measured maize evapotranspiration using Lysimeter and estimated value of evapotranspiration based on SEBS algorithm using LANDSAT 5-TM images

تاریخ Date	لایسیمتر Lysimeter (mm.day <sup>-1</sup> )	الگوریتم سبیس SEBS algorithm (mm.day <sup>-1</sup> )	اختلاف مطلق Absolute difference (mm.day <sup>-1</sup> )	اختلاف نسبی Relative difference (%)	میانگین اختلاف مطلق Mean of absolute difference (mm.day <sup>-1</sup> )
۲۵ ژوئن ۲۰۱۰ 25 June 2010	4.13	4.05	0.08	1.94	0.26
۱۱ ژولای ۲۰۱۰ 11 July 2010	7.74	7.47	0.27	3.49	
۲۷ ژولای ۲۰۱۰ 27 July 2010	7.45	7.11	0.34	4.56	
۱۲ آگوست ۲۰۱۰ 12 August 2010	8.05	7.72	0.33	4.10	

جدول ۲- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با روش فائو پنمن-مانتیت و حداکثر مقدار تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبیس برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره LANDSAT 5-TM

Table 2- Comparison of estimated reference evapotranspiration using FAO Penman Monteith equation and maximum value of regional evapotranspiration estimated by SEBS algorithm using LANDSAT 5-TM satellite images

تاریخ Date	فائو پنمن - مانتیت FAO Penman Monteith (mm.day <sup>-1</sup> )	الگوریتم سبیس SEBS algorithm (mm.day <sup>-1</sup> )	اختلاف مطلق Absolute difference (mm.day <sup>-1</sup> )	اختلاف نسبی Relative difference (%)	میانگین اختلاف مطلق Mean of absolute difference (mm.day <sup>-1</sup> )
۲۵ ژوئن ۲۰۱۰ 25 June 2010	5.90	6.32	0.42	7.12	
۱۱ ژوئیه ۲۰۱۰ 11 July 2010	9.00	9.02	0.02	0.22	
۲۷ ژوئیه ۲۰۱۰ 27 July 2010	7.45	8.30	0.85	11.41	0.71
۱۲ آگوست ۲۰۱۰ 12 August 2010	7.00	8.53	1.53	21.86	

پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی به این موارد توجه گردد.  
۱- خطای مربوط به کالیبره نبودن پارامترهای سبیس در منطقه مورد مطالعه: بعلت نبود وسایل لازم جهت اندازه‌گیری‌های زمینی امکان کالیبره کردن پارامترهای موجود در سبیس از قبیل آلبیدو سطحی، دمای سطحی، شارهای تابش خالص، گرمای خاک، گرمای محسوس و دیگر پارامترها، در منطقه وجود نداشت.

۲- خطای موجود در تهیه داده‌های لایسیمتر: لایسیمتر مورد استفاده در این مطالعه از نوع زهکش‌دار بوده است که دقت اندازه‌گیری آن بالا نیست. استفاده از ایستگاه‌های لایسیمتری وزنی دقیق با پراکنش مناسب و ایجاد یک مزرعه علمی جهت کنترل و کالیبره کردن پارامترها توسط وسایلی از جمله سوسوسنج (Scintilometer)، سپیدایی سنج (Albedo meter)، سطح سنج برگ (Leaf area meter) و... می‌تواند درستی نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های سنجش از دور را با اطمینان بیشتری مورد بررسی قرار دهد.

مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله الگوریتم سنجش از دور سبیس و تبخیر و تعرق پتانسیل فائو پنمن-مانتیت نشان می‌دهد که بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله این الگوریتم و روش فائو پنمن-مانتیت موافقت خوبی وجود دارد و با نتایج تمسگن (۱۷) و هیلجیورجیس (۹) نیز مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

مطالعه حاضر نتایج تجزیه و تحلیل تبخیر و تعرق روزانه با الگوریتم سبیس برای واحد مطالعاتی رباط ماهیدشت و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه ذرت با استفاده از لایسیمتر را نشان می‌دهد. مقایسه بین مقادیر تخمینی بوسیله الگوریتم سبیس برای محدوده مورد مطالعه و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه ذرت دقت رضایت بخشی را نشان داد. ضمناً تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم سبیس برای سطح دشت در محدوده قابل قبولی قرار داشته است. برخی از منابع خطا در مطالعه کنونی به قرار زیر است که

### منابع

- 1- Aghdasi F. 2010. Crop water requirement assessment and annual planning of water allocation. ITC, Enschede, The Netherlands, MSc thesis.
- 2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- 3- Allen R.G., Tasumi M., Morse A., Trezza R., Wright J.L., Bastiaanssen W., Kramber W., Lorite I., and Robison C.W. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 133(4): 395-406.
- 4- Bastiaanssen W., Menenti M., Feddes R., and Holtslag A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of hydrology. 212: 198-212.



- 5- Brutsaert W. 1982. Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications. Vol. 1. Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel publishing company.
- 6- Brutsaert W. 2005. Hydrology: an introduction. Cambridge University Press.
- 7- Gao Y., Long D., and Li Z.L. 2008. Estimation of daily actual evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in North China. *International Journal of Remote Sensing*. 29(11): 3295-3315.
- 8- Gebreyesus M.G. 2009. Validation of RS approaches to model surface characteristics in hydrology: a case study in Guarena Aquifer, Salamanca, Spain. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc thesis.
- 9- Hailegiorgis W.S. 2006. Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc thesis, 130 pp.
- 10- Lin W., van de Velde R., and Su Z. 2006. Satellite based regional scale evapotranspiration in the Hebei Plain, Northeastern China. *Proceedings of Dragon*. 1: 2004-2007.
- 11- Morse A., Tasumi M., Allen R.G., and Kramber W.J. 2000. Application of the SEBAL methodology for estimating consumptive use of water and streamflow depletion in the bear river basin of Idaho through Remote Sensing, in Idaho Department of Water Resources–University of Idaho.
- 12- Santos C.A.C.d., Bezerra B.G., Silva B.B.d., and Rao T.V.R. 2010. Assessment of daily actual evapotranspiration with SEBAL and S-SEBI algorithms in cotton crop. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 25(3): 383-392.
- 13- Shan X. 2007. Regional evaptranspiration over arid inland Heihe river basin in Northwest China. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, Msc thesis.
- 14- Su H., McCabe M., Wood E., Su Z., and Prueger J. 2005. Modeling evapotranspiration during SMACEX: Comparing two approaches for local-and regional-scale prediction. *Journal of hydrometeorology*. 6(6): 910-922.
- 15- Su Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes SEBS-The Surface Energy Balance. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6(1): 85-100.
- 16- Su Z., Schmugge T., Kustas W.P., and Massman W.J. 2010. An evaluation of two models for estimation of the roughness height for heat transfer between the land surface and the atmosphere. *Journal of Applied Meteorology*. 40(11): 1933-1951.
- 17- Temesgen E. 2009. Estimation of evapotranspiration from satellite remote sensing and meteorological data over the Fogera Floodplain–Ethiopia. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc. Thesis.
- 18- Verstraeten W.W., Veroustraete F., and Feyen J. 2008. Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. *Sensors*. 8(1): 70-117.
- 19- Yang W., Shabanov N., Huang D., Wang W., Dickinson R., Nemani R., Knyazikhin Y., and Myneni R. 2006. Analysis of leaf area index products from combination of MODIS Terra and Aqua data. *Remote sensing of environment*. 104(3): 297-312.



## Estimation of Actual Evapotranspiration in Mahidasht using SEBS Algorithm and LANDSAT Images

B. Farhadi Bansouleh<sup>1\*</sup>- A.R. Karimi<sup>2</sup>- H. Hesadi<sup>3</sup>

Received: 18-11-2014

Accepted: 01-02-2016

**Introduction:** Evapotranspiration (ET) is one of the key parameters in water resource planning and design of irrigation systems. ET could have spatial variations in a plain due to the diversity of plant species and spatial variability of meteorological parameters. Common methods of ET measurement are mostly point based and generalization of their results to the regional level are costly, time consuming and difficult. During the last three decades, several algorithms have been developed to estimate regional ET based on remote sensing techniques. Verstraeten et al. (2008) classified remote sensing-based methods for ET estimation into four categories i) methods based on the surface energy balance, ii) Penman-Monteith equation, iii) water balance and iv) the relationship between surface temperature and vegetation indices. SEBS (Surface Energy Balance System), SEBAL, METRIC and SEBI are examples of the algorithms which is developed based on the surface energy balance approach. SEBS is developed by Su (2002) and has been evaluated by several researchers. However this algorithm has been examined in the several studies in the world, it has been used rarely in Iran. The aim of the current study was to assess the results of SEBS algorithm in Mahidasht, Kermanshah, Iran. The study area is located at the latitude of 34° 5' - 34° 32' N and longitude of 46° 31' - 47° 06' E.

**Materials and Methods:** A brief description of the SEBS algorithm (in Persian) as well as its procedure to calculate ET based on Landsat images were presented in this paper. All equations of the algorithm were coded in the ERDAS Imagine package software using model maker tools. Actual ET over the study area was estimated using SEBS algorithm during the growth period of grain maize in the year 2010. For this purpose, available LANDSAT TM satellite images during the growing season of maize in 2010 (25 June, 11 July, 27 July and 12 August) were downloaded free of charge from the <http://glovis.usgs.gov> website (last visited: 26 November 2015).

A Lysimetric study was carried out to obtain reliable amounts of ET to assess the accuracy of calculating actual ET by SEBS algorithm. Because of the absence of the weighing Lysimeters in the study area, Drainable Lysimeter was used. Since the maize was the major crop in the study area, 10 ha maize was planted on 15 May 2010 at the research farm of the Mahidasht agricultural research station. At the same time, maize was cultivated in the Drainable Lysimeter (1m\*1.5m\*1.5m) which was located almost in the middle of the research farm. Actual ET of maize was calculated with the Lysimeter for each irrigation interval (10 days) based on water balance equation.

The Results of the SEBS algorithm were evaluated on two levels (farm and regional). At the farm level, average of calculating ET at the pixels of research farm was compared with the average of measured ET at the Lysimeter. The absolute and relative differences between the calculated and measured values of ET was used to describe the accuracy of the algorithm. Due to the absence of regional ET measurement, maximum ET estimated by the SEBS algorithm in the plain was compared with the calculated potential crop reference evapotranspiration (ETO). ETO was calculated using the Penman - Monteith formula based on daily weather data obtained from Mahidasht weather station.

**Results and Discussion:** Results indicated that an average of ET in the study area increased from June to August which coincides with increasing air temperature and vegetation density in the irrigated fields of the study area. The highest and lowest values of actual ET over the study area were determined in the irrigated farms and mountainous area, respectively. The results of Lysimetric study indicated that daily actual ET of maize on 25 June, 11 July, 27 July and 12 August was 4.13, 7.74, 7.45 and 8.05 mm.day<sup>-1</sup>, respectively. The value of ET estimated by SEBS algorithm was less than actual measured ET by Lysimeter for the all mentioned dates. The maximum absolute difference between estimated ET by SEBS and measured ET with the Lysimeter was

1, 2 - Assistant Professor and Graduated MSc student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah

(\*-Corresponding Author Email: bfarhadi2001@yahoo.com)

3- Academic member, Kermanshah Agriculture and Natural Resources Research Center

occurred on 27 July with the amount  $0.34 \text{ mm.day}^{-1}$ . Considering the maximum relative difference of 4.56 % between calculated and measured ET, it could be concluded that estimated ET by SEBS algorithm can be acceptable.

Due to the absence of ground-based measurements of evapotranspiration at the regional level, the maximum amount of ET estimated by SEBS algorithm was compared with ETO. The highest and lowest ratio of maximum ET over ETO were calculated as 1.02 and 1.22 which are acceptable values for the crop coefficient ( $K_c$ ) in the studied period. The maximum difference between estimated ET by SEBS algorithm with ETO was  $1.53 \text{ mm.day}^{-1}$  which is equal to 21.86% of ETO in the same date (12 August).

**Conclusions:** The results of the current study showed that the SEBS algorithm can estimate the actual ET of maize with the acceptable accuracy in the Mahidasht. In the absence of measured ET data at the regional level, it was difficult to have a reasonable judgment on the accuracy of the estimated values of ET by SEBS algorithm at this scale. It is recommended to do the same study on other remote sensing-based approaches of ET estimation.

**Keywords:** Kermanshah, Maize, Remote sensing, Satellite image, Water balance